

# 試 作 電 磁 石 の 性 能

杉 森 正 義<sup>\*</sup>・鈴 木 茂 雄<sup>\*\*</sup>・妹 尾 博 文<sup>\*\*\*</sup>

## Some Properties of Laboratory Electromagnet

Masayoshi SUGIMORI, Shigeo SUZUKI, Hirofumi SENO

(Received 30 September 1965)

We have made a Weiss type electromagnet for use of laboratory experiment and tested its field strength and uniformity about several gap distances and about various forms of pole pieces. For practical use, we get the field strength of 11,000 Oe in the 1.7 cm air gap and 5,000 Oe in the 4 cm gap, both at 12 A of exciting current.

### 1 は じ め に

近來の物理学の研究において、大は粒子加速器から固体物性の研究にまで、磁場は欠くことのできない重要な研究手段となっている。われわれは Hall 係数、磁気抵抗、帯磁率および、磁気共鳴（核および電子）などの測定に使用する目的で、電磁石を製作したので、その性能を報告する。

### 2 設 計

2・1 簡単な理論によって、電磁石の間隙で得られる磁場の強さは、次の式によって求められる。

$$\bar{B}_0 d + \bar{B} \ell / \mu = \mu_0 n I \quad (\text{MK S}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 $d$ ,  $\ell$  は間隙および鉄心内の磁路の長さ、 $\mu_0$ ,  $\bar{\mu} = \mu / \mu_0$  は真空の透磁率、および鉄の比透磁率である。間隙の幅  $d$  が、鉄心の長さ  $\ell$  に比べて充分小さいときは、鉄心が、磁気飽和に達していき、間隙付近での磁束の漏洩が大きくなないとすると

$$\bar{B}_0 = \mu_0 n I / d \quad \dots\dots\dots(2)$$

が、良い近似式となる。

2・2 使用目的から設計については、次の方針をとった。

(a) Hall 係数や帯磁率の測定に、常温から高温側で使用するには、最低 15mm の間隙が必要であるが、そのとき磁場の均一度は、さほど要求されない。帯磁率の測定では、磁場の傾斜 ( $\partial H / \partial r$ ) を利用する。液体空気温度では、40mm 以上あれば充分である。磁極間隙に強い磁場を作るには、磁極に taper をつければ有効であり、これは理論的に、 $54^\circ 44'$  である。

(b) 常温で核磁気共鳴に使用する場合、間隙は 1 cm もあれば充分であるが、高度の均一磁場が要求される。高分子や固体についての磁気共鳴でも  $10^{-3}$  位の均一度は必要である。電子磁気共鳴では間隙幅 3 cm で、磁場強度は約 3,000 gauss が必要となる。その他、磁石の回転移動ができれば好都合である。これらの要求を満たす条件で、1 図のような weiss 型 回転台車つきの電磁石を製作した。

### 3 製 作

機械工作、材料の入手などから、磁極の部分は直径 10 cm、間隙幅 6 cm とし、これに磁極片をとり

\* 助手 \*\* 学芸学部学生（現在武生高等学校教諭） \*\*\* 学芸学部講師

つけて、それぞれ使用目的にあわせるようにした。コイルは、2 cmの間隙幅で最高 10,000gaussの磁場が得られることと、低抵抗型として巻数と太さを決めた。これは将来、電源整流器、レギュレーター等に、半導体製品を使用した方が良いと考えられるからである。つぎにできあがったものの technical data を、表および図1～3に示す。

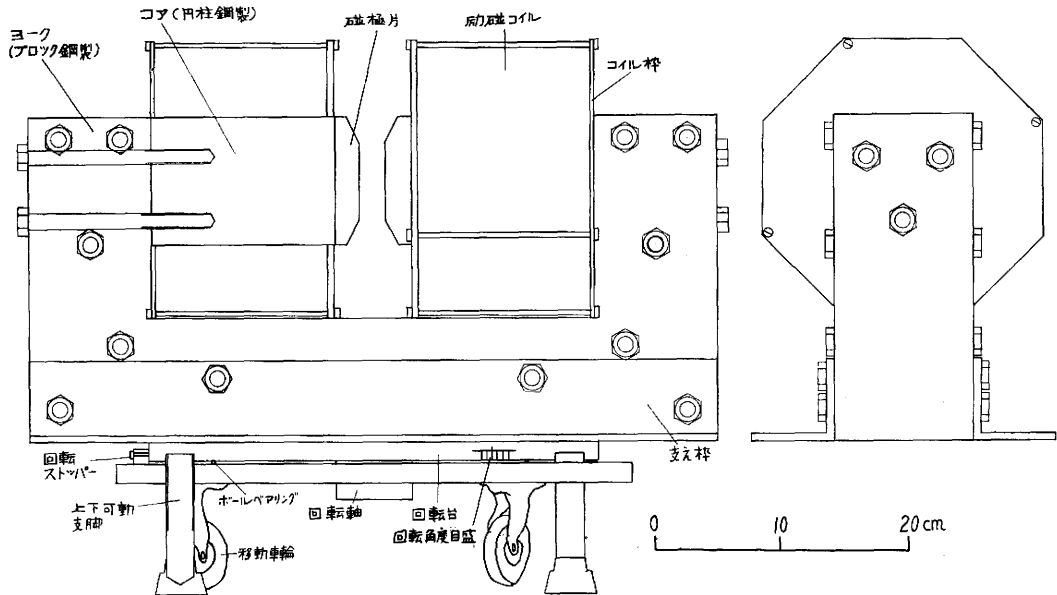


図1 Wiess 型電磁石及び回転移動台車

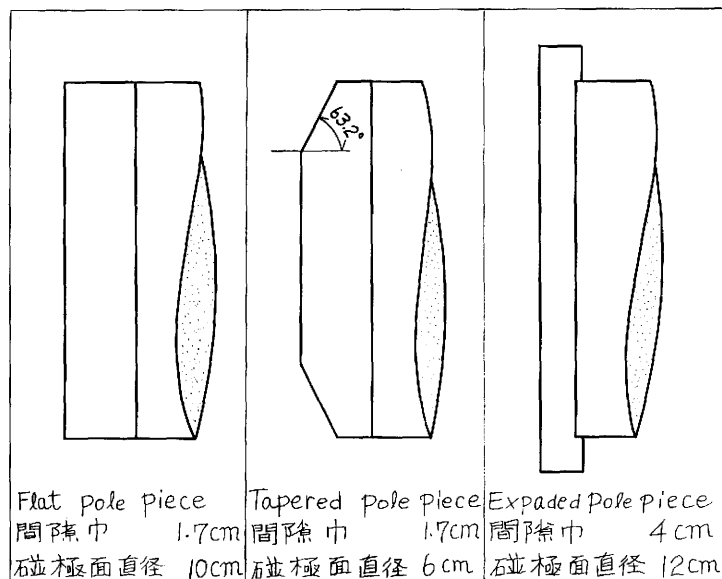


図2 磁極片の形状

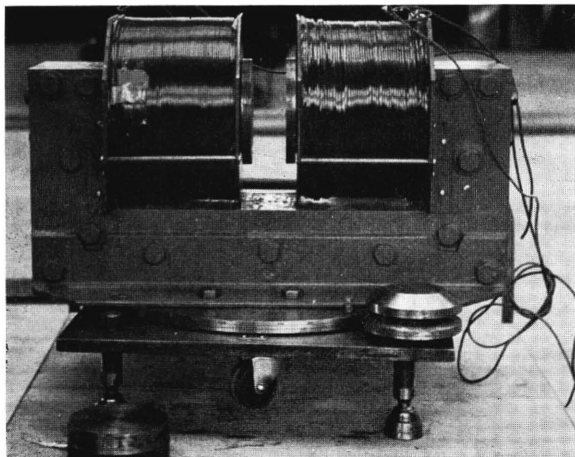


図3 試作した電磁石

表 Technical Data

電源	0~24V
コイル線材	直径2mm フォルマル銅線
巻数	3,200 turn
抵抗 (コイルを paraにして)	2.0 $\Omega$
最大励磁電流	12 A
(各コイル	6 Aずつ)
最大励磁力	$20 \times 10^3$ AT

#### 4 性 能

間隙内の磁束密度の測定には gauss meter を使用した。鉄心内の磁束密度の測定には、鉄心に細い導線を巻きつけ、それを search coil として、gauss meter の弾動検流計につなぎ、励磁コイルの電流を断続して測定した。間隙内での磁場の空間分布の測定には Ge 半導体の Hall 効果を利用して測定した。

4・1 間隙内での磁場 各磁極片について得られる磁場のようすを図4に示す。励磁電流 9 A ま

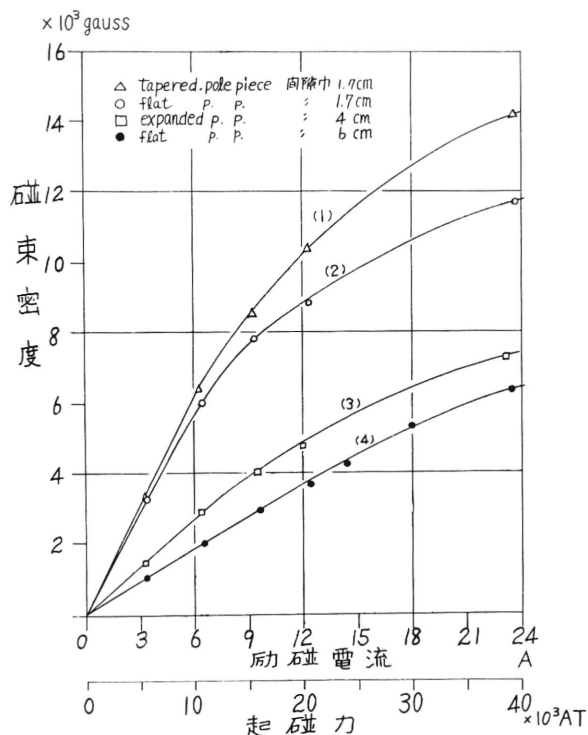


図4 間隙内の磁場特性

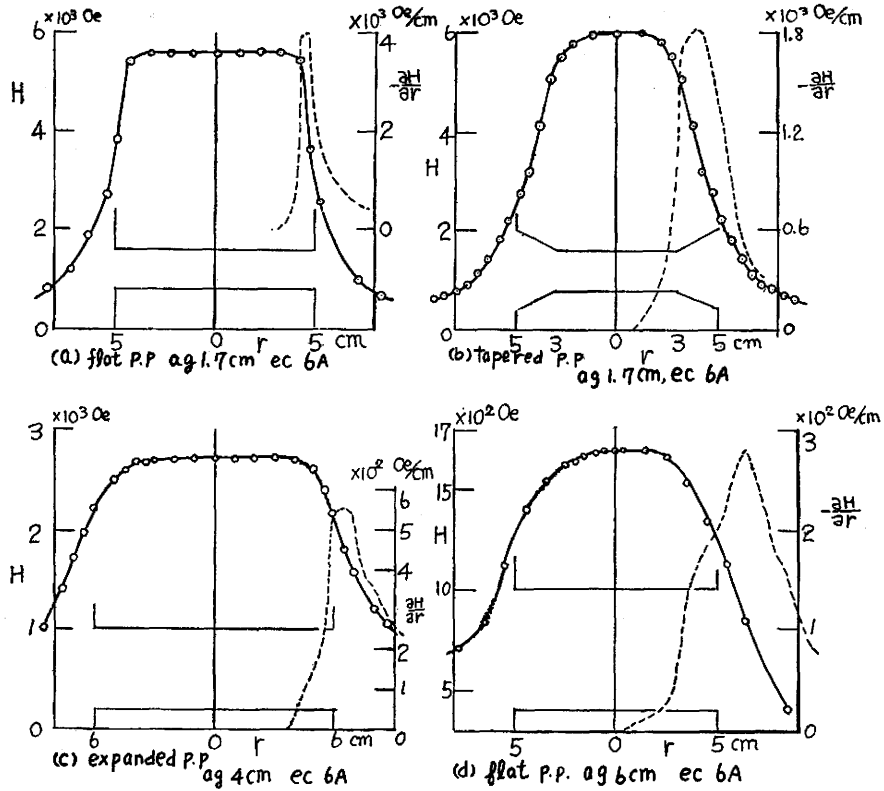


図5 間隙内の磁場の分布,  $ag$  (間隙巾),  $ec$  (励磁電流) 実線は磁場の強さ, 破線は磁場傾度

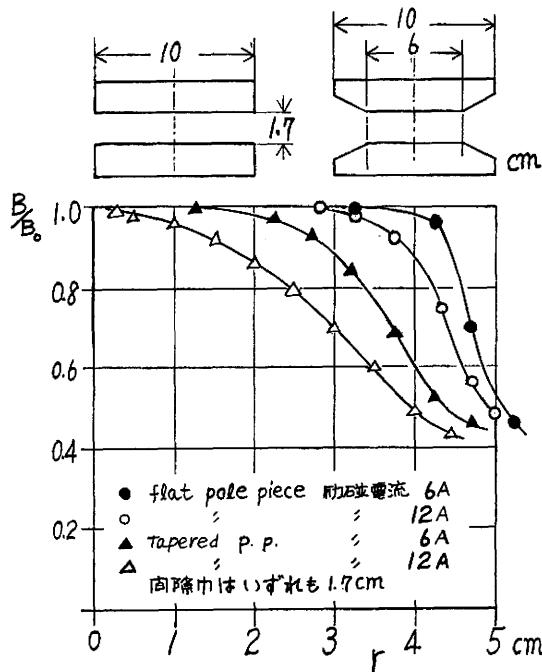


図6 磁場の均一度の磁場強度による変化

では、磁場の強さは(2)式に従うが、それ以上では(2)式では近似できなくなり、24Aではほとんど飽和に達する。図4の曲線(1), (2)から、間隙幅が同じとき、磁極片に taper をつけると、中心に強い磁場が得られることがわかる。これの比は、理論値は、1:1.35で、実験値は1:1.25であった。図5に磁極の半径方向の磁場の分布を、それぞれの磁極片について示す。励磁電流を変えた時の磁場の分布の変化を図6に示す。expanded pole piece, gap 4 cm, と flat pole piece, gap 1.7 cm の磁極片の磁場の均一度は、電流を変えてもあまり変わらない。使用条件を選ぶと、間隙 1.7 cm では直径 5 cm の広がりではほぼ均一な 9,000 gauss, 間隙 4 cm では、直径 6 cm の広がりではほぼ均一な 5,000 gauss の磁場が得られる。間隙 4 cm と、6 cm のもので、磁場が半径方向に対称でないのは図の左側では yoke に磁束が吸い寄せられるからである。磁極軸方向の磁場の強さは、間隙 1.7 cm ではあまり変化がない。間隙 4 cm では、間隙中心から磁極面に近づくにつれて、磁場強度は増し中心から 1 cm の所で、約 0.8% 高くなる。間隙 6 cm では、磁極半径、軸方向共に変化が大きくなっている。

4・2 磁場傾度 磁場の傾斜  $\partial H / \partial r$  を利用する際、その値が大きいことと、広範囲にわたって一定であることが望ましい。測定した値を図5に点線で示す。

4・3 鉄心内部の磁束密度 各磁極片について、励磁電流 12A を流した時の鉄心内の磁束密度のようすを、図7に示す。間隙に近づくにつれて、磁束の漏洩があるから、鉄心内での磁束数は少なくなる。各磁極片についての違いは、間隙の磁気抵抗の大小によるものである。最も磁束密度の高い

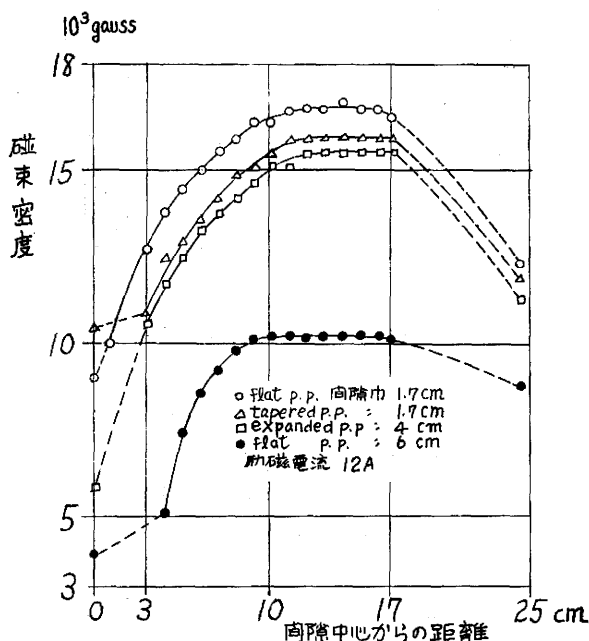


図7 鉄心内の磁束密度

場所での励磁電流との関係を、図8に示す。鉄心内でも図4の間隙における磁場と良く似た傾向を示している。電流 24A で(1), (2), (3)の曲線が 21,000 gauss に集中するのは、この値が軟鉄を磁心材料とした時の磁化の飽和値となっているからである。従って間隙が磁極直径に比し小さい時には、21,000 gauss までの磁場が得られることになる。

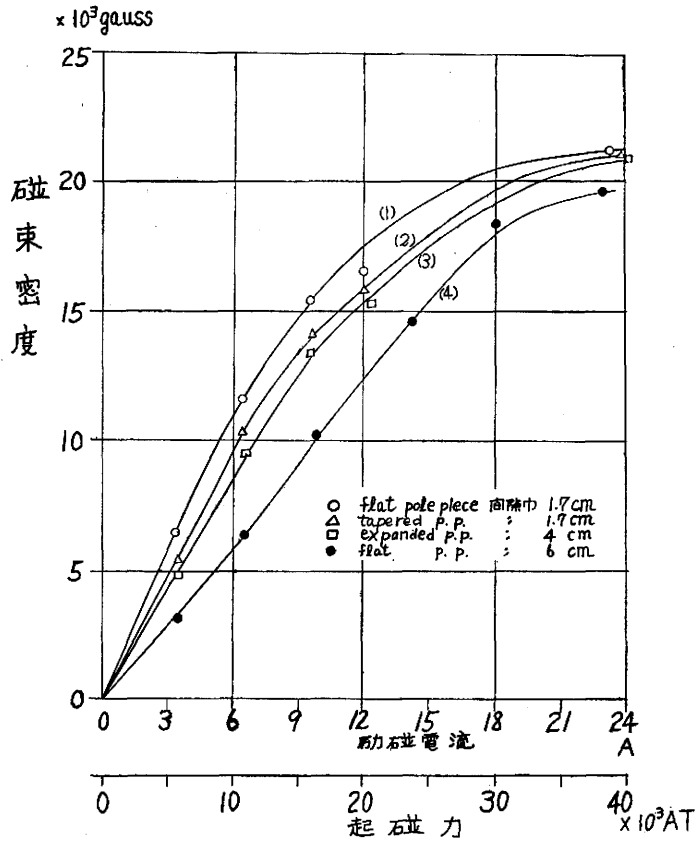


図8 鉄心内の起磁力と磁束密度の関係

**4・4 漏洩磁束** 漏洩磁束は磁束比 $\phi_0/\phi$  ( $\phi_0$ ,  $\phi$ はそれぞれコイルと鉄心によって作られる磁束, および, 鉄心のある場所での断面を通る磁束)で示し,  $\phi_0$ に鉄心内の最大磁束密度をとる場所での磁束数をとって, 図7から求めた。その結果を図9に示す。間隙1.7 cm, flat pole piece および tapered pole piece について, 励磁電流12 Aのとき間隙の磁束比は, 1.9, 2.1である。電流24 Aの時は正確には求められなかったが, ほぼ3~4であった。この型の電磁石では, この程度の磁束の漏洩はさげられない。

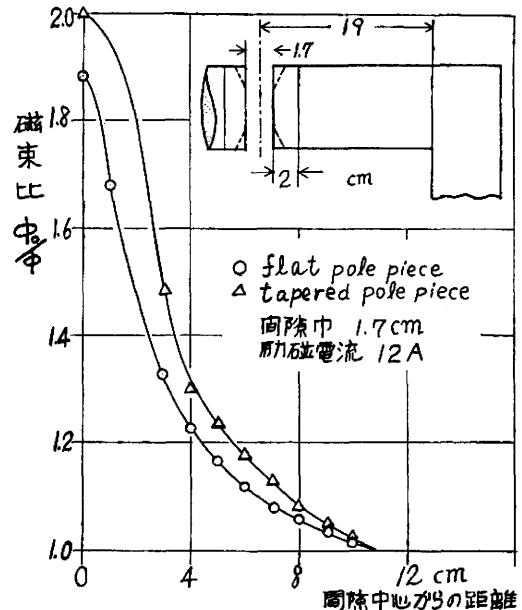


図9 漏洩磁束比, 鉄心内11 cmのところを基準点を取り総磁束数 $\phi_0$ とする

## 5 あ と が き

コイルの発熱に対する冷却装置は用いてない。励磁電流 12A を流したとき励磁コイルは 毎分約 4,000 cal の熱量を出し、コイル表面で、2 時間の通電で約60度温度が上昇した。12A 以上の電流は短時間しか流すことができない。

以上述べてきたように、われわれの製作した weiss 型電磁石は、Hall 効果、帯磁率、磁気共鳴の実験の目的をほぼ満足する。電磁石の確定した設計法がないので、機械工作その他で、最も単純な型として、他の特殊な目的の電磁石を製作するときの参考になると思われる。

最後に終始御助言いただいた各務教授に感謝の意を表します。(なお本研究の一部を、昭和39年度物理学会北陸支部会にて発表した。)

## 文 献

- 1) 熊谷寛夫 ; 日本物理学会誌, 11-3 (1956)
- 2) 熊谷寛夫 ; 日本物理学会誌, 17-3 (1962)
- 3) 近角總信, 石川義和 ; J. J. A. P., 1-3 (1962)
- 4) 大 石 他 ; 磁極径100mmのCaliper型電磁石 : 東北大学科研報告, 13巻1号 (1964)
- 5) 石黒敏郎他 ; 交直マグネットの設計と応用
- 6) 茂木 晃 ; 電磁装置とその設計
- 7) 伴野雄三 ; 磁場の発生 : 構造解析・特殊実験技術

---

(昭和40年 9 月30日受理)